

Phyton (Horn, Austria)	Vol. 37	Fasc. 1	85-92	10. 9. 1997
------------------------	---------	---------	-------	-------------

## Die Aufnahme von inaktivem Strontium in ausgewählte Nutzpflanzen in Hydro- und Erdkultur

Von

Stefan HACKEL\*), Hartwig W. PFEIFHOFER\*) und Georg HEINRICH\*)

Mit 6 Abbildungen

Eingelangt am 2. Oktober 1996

Key words: Strontium ( $^{88}\text{Sr}^{2+}$ ) uptake, mineral nutrition, maize, lettuce, rape, turnip cabbage.

### Summary

HACKEL S., PFEIFHOFER H. W. & HEINRICH G. 1997. Uptake of inactive strontium in selected crop plants under hydroponic - and soil culture-conditions. - *Phyton* (Horn, Austria) 37 (1): 85-92, with 6 figures. - German with English summary.

The uptake of stable strontium ( $^{88}\text{Sr}^{2+}$ ) as a function of  $\text{Sr}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ , and  $\text{K}^+$  concentration was studied in *Zea mays* L. (maize), *Lactuca sativa* var. *capitata* L. (lettuce), *Brassica napus* L. var. *napus* (rape), *Brassica oleracea* L. convar. *acephala* var. *gongylodes* (turnip cabbage), and *Glycine max* [L.] MERR. (soya). The test plants were cultivated either hydroponically or in soil substrate. Hydroponically grown maize had  $\text{Sr}^{2+}$  concentrations up to 4 mg per g dry weight. High concentrations of  $\text{Ca}^{2+}$  inhibited the  $\text{Sr}^{2+}$  uptake only in soil substrate. The influence of  $\text{K}^+$  on the uptake of  $\text{Sr}^{2+}$  and  $\text{Ca}^{2+}$  was not pronounced. *Glycine max* showed the highest, *Lactuca sativa* the lowest  $\text{Sr}^{2+}$  accumulation which parallels their ability of taking up  $\text{Ca}^{2+}$ .

### Zusammenfassung

HACKEL S., PFEIFHOFER H. W. & HEINRICH G. 1997. Die Aufnahme von inaktivem Strontium in ausgewählte Nutzpflanzen in Hydro- und Erdkultur. - *Phyton* (Horn, Austria) 37 (1): 85-92, mit 6 Abbildungen. - Deutsch mit englischer Zusammenfassung.

Die Aufnahme von inaktivem Strontium ( $^{88}\text{Sr}^{2+}$ ) in Abhängigkeit der Konzentrationen an Strontium, Calcium und Kalium in Hydro- und Erdkultur wurde an

---

\*) Mag. Stefan HACKEL, Mag. Dr. Hartwig PFEIFHOFER und Prof. Dr. Georg HEINRICH, Institut für Pflanzenphysiologie, Karl-Franzens-Universität Graz, Schubertstr. 51, A-8010 Graz, Austria.

folgenden Kulturpflanzen untersucht: *Zea mays* L. (Mais), *Lactuca sativa* var. *capitata* L. (Kopfsalat), *Brassica napus* L. var. *napus* (Sommerraps), *Brassica oleracea* L. convar. *acephala* var. *gongyloides* (Kohlrabi blau) und *Glycine max* [L]. MERR. (Soja).

*Zea mays* nahm in Hydrokultur bis zu 4 mg Strontium/g TS auf. Eine Hemmung der Strontiumaufnahme durch erhöhte Calciumgaben konnte nur bei Erdkulturen festgestellt werden. Steigende Kaliumgaben beeinflussen die Aufnahme von Strontium und Calcium nur geringfügig, die Gehalte der beiden Erdalkalitionen verhalten sich gegenläufig.

Von den Gemüsepflanzen wurden in *Glycine max* die größten und in *Lactuca sativa* die geringsten Strontiumkonzentrationen festgestellt. Die Strontiumaufnahme dieser Pflanzen korreliert positiv mit ihrer Fähigkeit, Calcium aufzunehmen.

## Einleitung

Radioaktives Strontium ( $^{90}\text{Sr}$ ) ist seit Beginn der ersten Atomwaffentests Gegenstand zahlreicher Untersuchungen (REDISKE & SELDERS 1953, MICHAEL & SCHILLING 1960, BUKOVAC & al. 1965). Es ist mit einer Halbwertszeit von ca. 29 Jahren ein langlebiger, energiereicher  $\beta$ -Strahler. In den menschlichen Organismus gelangt  $^{90}\text{Sr}$  durch Verzehr kontaminierter Nutzpflanzen. Es wird hauptsächlich in Knochen abgelagert und kann Knochensarkome hervorrufen. Bei dem Reaktorunfall in Tschernobyl am 26. April 1986 wurde neben anderen Radioisotopen auch  $^{90}\text{Sr}$  freigesetzt, wodurch die Arbeiten über die  $\text{Sr}^{2+}$ -Aufnahme von Pflanzen wieder an Aktualität gewannen.

Das physiologische Verhalten des Strontiums ähnelt dem des Calciums. Die Aufnahme des Strontiums kann daher durch Calcium kompetitiv beeinflusst werden (HAUNOLD & al. 1986). Aufgrund der Ähnlichkeit dieser Metalle wird deren Aufnahme meist von den gleichen Faktoren bestimmt.

Über die Mechanismen der Aufnahme und das physiologische Verhalten des Strontiums in Pflanzen gibt es noch viele offene Fragen. Die vorliegende Arbeit setzt sich zum Ziel, die Aufnahme von Strontium in ausgewählte Nutzpflanzen und den Einfluß von  $\text{K}^+$  und  $\text{Ca}^{2+}$  auf die  $\text{Sr}^{2+}$ -Aufnahme zu untersuchen.

## Material und Methodik

Alle Pflanzen wurden unter gleichen Bedingungen in einer Klimakammer (Heraeus Vötsch, Heraphyt HPS 1500) gezogen: 75% relative Luftfeuchte, 12 Stunden Tageslicht mit  $600 \mu\text{mol Photonen m}^{-2}\text{s}^{-1}$ , 25/15°C Tag-/Nachttemperatur. *Zea mays* L. (Mais) wurde sowohl in Hydro- als auch in Erdkultur kultiviert. *Lactuca sativa* var. *capitata* L. (Kopfsalat), *Brassica oleracea* L. convar. *acephala* var. *gongyloides* (Kohlrabi blau), *Glycine max* [L]. MERR. (Soja) und *Brassica napus* L. var. *napus* (Sommerraps) wurden in Erdkultur gezogen. Als Erde diente eine Hochmoortorf-Sandmischung. Für die Hydrokulturen und zur Behandlung der Erdkulturen wurde eine Nährlösung nach KNOP bereitet, die je nach Versuchsansatz mit inakti-

von  $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$  erweitert wurde. Außerdem wurde die Calcium- und Kaliumkonzentration der Nährlösungen je nach Versuchsansatz wahlweise variiert.

Die Maispflanzen wurden 45 Tage, die anderen Pflanzen 39 Tage nach der Keimung geerntet.

Die Bestimmung der austauschbaren (mit  $\text{BaCl}_2$ ) und wasserlöslichen Kationen im Boden erfolgte nach BLUM & al. 1986. Die Strontium-, Calcium-, Kalium- und Magnesiumkonzentrationen in den Pflanzen wurden nach nasser Veraschung mittels Atomabsorptionsspektroskopie (Shimadzu AA-660) ermittelt.

### Ergebnisse

Oberirdische Organe von *Zea mays*, gezogen in Nährlösungen ohne  $\text{Sr}^{2+}$ -Zusatz, enthielten nur Spuren von  $\text{Sr}^{2+}$  (13  $\mu\text{g/g}$  Trockenmasse). Der Strontiumgehalt stieg nach Zugabe von 2 bis 10 mM  $\text{Sr}^{2+}$  pro l Nährlösung auf Werte zwischen 1400 und 4000  $\mu\text{g/g}$  Trockenmasse (Abb. 1). Steigende Calciumgaben bei gleichbleibenden Strontiumgaben verringerten die Strontiumaufnahme in Hydrokulturen nicht (Abb. 2). Auf Erds substrat wurde hingegen von Maispflanzen ab 12,5 mval austauschbarem Calcium/100 g Erde weniger Strontium aufgenommen (Abb. 3).

In oberirdischen Organen von *Zea mays*, gezogen in Hydrokultur, führten unterschiedliche Kaliumkonzentrationen bei gleichbleibenden Konzentrationen der übrigen Ionen nur zu geringfügigen Änderungen des Calcium- und Strontiumgehaltes. Die Schwankungen des Strontium- und Calciumgehaltes der Pflanze zeigten hierbei eine gegenläufige Tendenz. War bei einer bestimmten  $\text{K}^+$ -Konzentration im Vergleich zur ursprünglichen  $\text{K}^+$ -Konzentration in der Nährlösung eine leicht erhöhte  $\text{Ca}^{2+}$ -Aufnahme festzustellen, so wurde im gleichen Ausmaß die  $\text{Sr}^{2+}$ -Aufnahme vermindert (Abb. 4). Innerhalb einer Maispflanze war  $\text{Sr}^{2+}$  ungleich verteilt. Die größte  $\text{Sr}^{2+}$ -Menge pro g Trockenmasse fand sich in den Wurzeln, gefolgt von den alten Blättern. Während in der Wurzel, den alten Blättern und dem unteren Sproß ähnliche  $\text{Sr}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$ -Verhältnisse vorlagen, wurde in den jungen Blütenstand und in die ihn umgebenden Blätter bevorzugt Calcium aufgenommen, im oberen Sproß hingegen relativ mehr Strontium angereichert (Abb. 5).

Für die anderen untersuchten Nutzpflanzen wurde unter gleichen Kulturbedingungen eine Strontiumaufnahme in folgender absteigender Reihenfolge ermittelt (Abb. 6): *Glycine max* (Fabaceae; 927  $\mu\text{g/g}$  TS) > *Brassica oleracea* (Brassicaceae; 910  $\mu\text{g/g}$  TS) > *Brassica napus* (Brassicaceae; 866  $\mu\text{g/g}$  TS) > *Lactuca sativa* (Asteraceae; 534  $\mu\text{g/g}$  TS).

### Besprechung

In der Natur kann es zu einer starken Anreicherung von Strontium in manchen Pflanzen kommen (KESAVARAJU & JAGADEESWARA RAO 1988). In unseren Versuchen mit Nährlösungen nahmen Maispflanzen ebenfalls hohe Konzentrationen an Strontium auf (Abb. 1). Besonders auffällig war

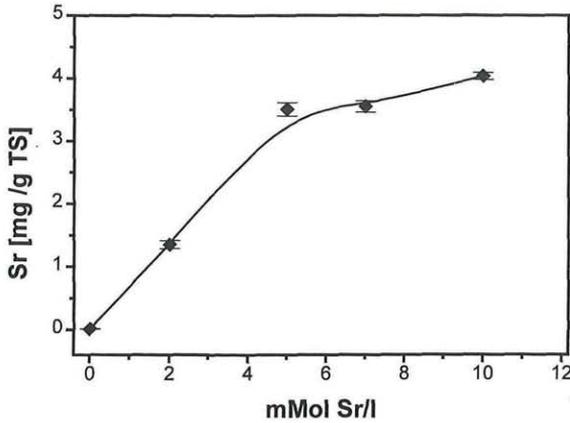


Abb. 1. Strontiumgehalt (Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung,  $n = 3$ ) von *Zea mays*-Pflanzen in Abhängigkeit der Strontiumkonzentration in der Nährlösung. Die übrigen Nährstoffkonzentrationen wurden konstant gehalten

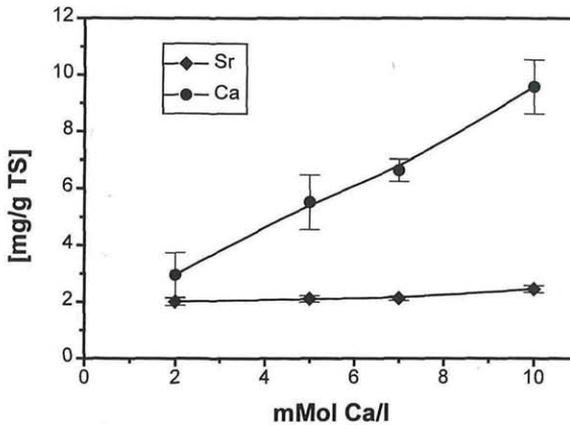


Abb. 2. Calcium- und Strontiumgehalt (Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung,  $n = 3$ ) von *Zea mays*-Pflanzen in Abhängigkeit der Calciumkonzentration in der Nährlösung. Die Konzentrationen der übrigen Nährstoffe und die Strontiumkonzentration (5 mM/l) wurden konstant gehalten

jedoch das unterschiedliche Ca/Sr-Verhalten von *Zea mays* in Hydro- und Erdkultur. Während bei Hydrokultur steigende Calciumgaben die Sr-Akkumulation nicht beeinflussten (Abb. 2), wurde in Erdkultur die Strontiumaufnahme ab 12,5 mval austauschbares Ca pro 100 g Boden gehemmt (Abb. 3). In der Literatur wird über das kompetitive Verhalten von Ca und Sr mehrmals berichtet (z.B. ROMNEY & al. 1959, MICHAEL & SCHILLING 1960, GÜNTHER & SCHROEDER 1968, HAISCH & al. 1985, HAUNOLD & al. 1986). Wie unsere Versuche zeigen, ist eine Verallgemeinerung des antagonistischen

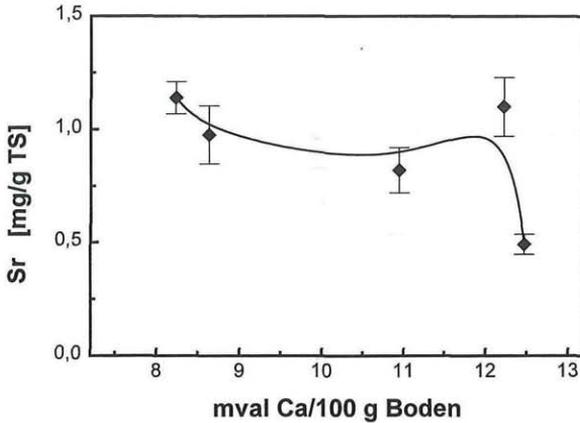


Abb. 3. Strontiumgehalt (Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung  $n = 3$ ) von *Zea mays*-Pflanzen in Abhängigkeit der Calciumkonzentration im Boden nach einer Strontiumgabe von 12 mval/100 g Boden; die austauschbare Sr-Menge betrug 1,94 mval/100 g Erde

Verhaltens Ca/Sr nicht gerechtfertigt. Da bei Hydrokultur die Strontiumaufnahme von Mais durch steigende Calcium- und Kaliumgaben (Abb. 2 u. 4) nicht behindert wurde, ist hier ein überwiegend passiver Transport zum Zentralzylinder in den jüngsten Wurzelteilen wahrscheinlich. Dieser Weg wird von MARSCHNER & RICHTER 1974 für Calcium beschrieben. Die bei dem Versuch mit Erdkultur festgestellte Hemmung der Strontiumaufnahme ab 12,5 mval austauschbares Ca/100g Boden bestätigt die Aussage von HAUNOLD & al. 1986, wonach ab einer Calciumsättigung von 12–15 mval/100 g Boden mit einer deutlich verringerten Strontiumaufnahme zu rechnen ist. Calcium verdrängt Strontium aus der Bodenlösung und in der Folge von den Bindungsstellen der Wurzel.

Die hohe Strontiumkonzentration in den Wurzeln kommt wohl überwiegend durch adsorptiv gebundene und passiv in den Apoplasten („apparent free space“) eingeströmte Ionen zustande. In den oberirdischen Organen wurde Strontium in hohem Maße in den alten Blättern angereichert. Es kann durch das Phloem nicht in andere Pflanzenteile transloziert werden (FELLER 1989, GERZABEK & al. 1991 ).

Die Angabe von SCHILLING 1960, wonach in allen Teilen der Pflanze gleiche  $\text{Ca}^{2+}/\text{Sr}^{2+}$ -Verhältnisse vorliegen, konnte nicht bestätigt werden. Während das  $\text{Ca}^{2+}/\text{Sr}^{2+}$ -Verhältnis in der Wurzel, den alten Blättern und dem unteren Sproß zwar nahezu den gleichen Wert aufwies, war die Strontiumaufnahme in den jungen Blütenstand in Relation zum Calcium geringer, während der darunterliegende Sproßteil mehr Strontium angereichert hat (Abb. 5). Wahrscheinlich liegt das an der unterschiedlich starken Transpiration der Pflanzenteile.

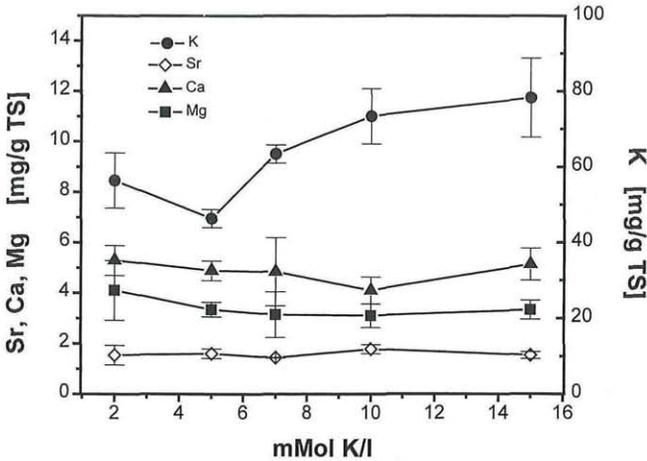


Abb. 4. Die Aufnahme der Ionen Strontium, Calcium, Kalium und Magnesium in *Zea mays* (Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung, n = 3) in Abhängigkeit zur Kaliumkonzentration in der Nährlösung. Die Konzentrationen der übrigen Nährstoffe und die Strontiumkonzentration (5 mM/l) wurden konstant gehalten

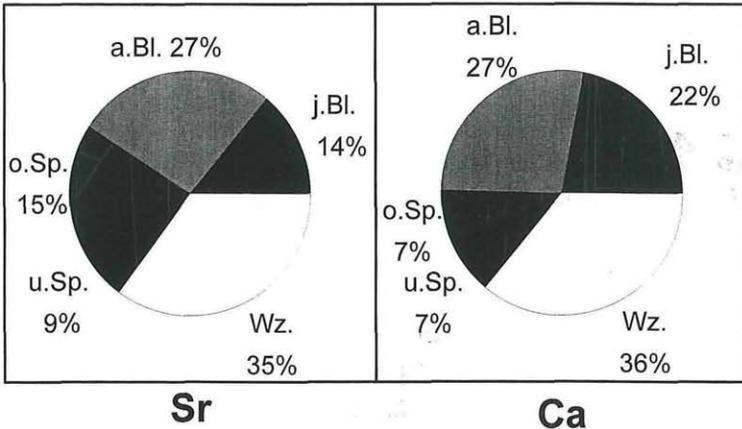


Abb. 5. Die Strontium- und Calciumverteilung in der Trockensubstanz von *Zea mays* bezogen auf die Gesamtmenge an aufgenommenem Strontium bzw. Calcium. Die Sr-Konzentration in der Nährlösung betrug 5 mM/l

Abkürzungen: a.Bl. = alte Blätter, j.Bl. = junge Blätter, o.Sp. = oberer Sproßteil, u.Sp. = unterer Sproßteil, Wz = Wurzel

Weiters konnte gezeigt werden, daß Pflanzen mit effektiven Calciumaufnahmesystemen auch viel Strontium anreichern, dies trifft in Einklang mit BUKOVAC 1965 für die untersuchten Fabaceen und Brassicaceen in hohem Maße zu (Abb. 6).

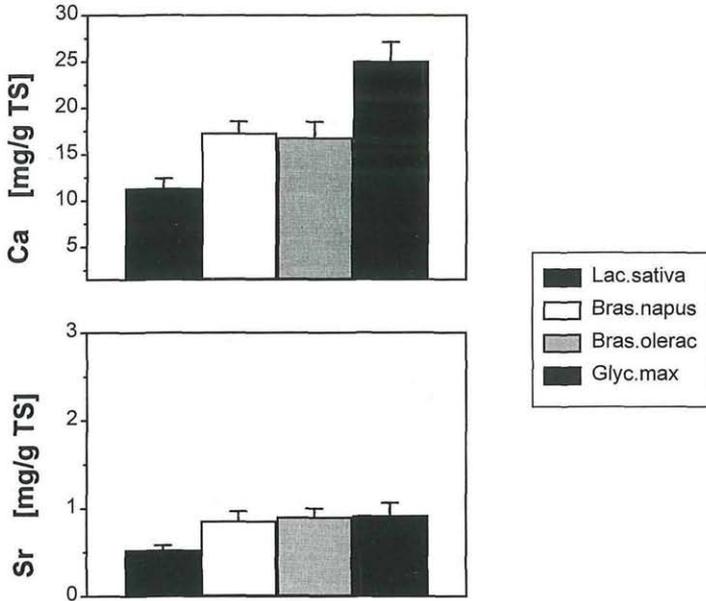


Abb. 6. Die Strontium- und Calciumgehalte verschiedener Nutzpflanzen in Erdkultur (Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung,  $n = 3$ ). Pro 100 g Kultursubstrat wurde je 0,6 mval  $\text{Ca}^{2+}$  und  $\text{Sr}^{2+}$  zugefügt. Die Konzentration an austauschbarem  $\text{Ca}^{2+}$  und  $\text{Sr}^{2+}$  betrug 32,6 bzw. 0,59 mval/100 g Erde

#### Danksagung

Wir danken Frau Dr. E. STABENTHEINER-BERMADINGER (Inst. f. Pflanzenphysiologie, Univ. Graz) für Hilfestellung bei den AAS-Analysen. Die Untersuchungen wurden durch das Projekt 5324 des Jubiläumsfonds der Österreichischen Nationalbank unterstützt.

#### Literatur

- BLUM W. E. H., DANNEBERG O. H., GLATZEL G., GRALL H., KILIAN W., MUTSCH F. & STÖHR D. 1986. Waldbodenuntersuchungen, Geländeaufnahme, Probenahme, Analyse. Empfehlungen zu Vereinheitlichung der Vorgangsweise in Österreich. – Mitt. der österr. Bodenkundl. Ges., Heft 31.
- BUKOVAC M. J., WITTEWITZ S. H. & TUKEY H. B. 1965. Aboveground plant parts as a pathway for entry fission products into the food chain with special reference to  $^{89-90}\text{Sr}$  and  $^{137}\text{Cs}$ . – In: FOWLER E. B. (ed.), Radioactive fallout, soils, plants, foods, man. – Elsevier, New York, Chapter 5: 82–109.
- FELLER U. 1989. Transfer of rubidium from the xylem to the phloem in wheat internodes. – J. Plant Physiol. 133, 764–767.
- GERZABEK M. H., HORAK O., ARTNER CH. & MÜCK K. 1991. Untersuchung des Radio-nuklidtransfers im System Boden–Pflanze. – OEFZS – 4568.

- GÜNTHER J. & SCHROEDER D. 1968. Über den Einfluß von Bodeneigenschaften auf die Aufnahme von radioaktivem Strontium durch Pflanzen. II. Untersuchungen an Modellböden mit systematisch variierten Merkmalen. – Z. Pflanzenernähr., Bodenk. 120: 78–88.
- HAISCH A. P., CAPRIEL P. & FORSTER S. 1985. Strontiumverfügbarkeit für Pflanzen auf drei verschiedenen Böden – Transferfaktoren Boden–Pflanze. – Landwirtschaftl. Forschung 38: 237–244.
- HAUNOLD E., HORAK O. & GERZABEK M. 1986. Umweltradioaktivität und ihre Auswirkung auf die Landwirtschaft. I. Das Verhalten von Radionukliden in Boden und Pflanze. – Die Bodenkultur 38: 45–118.
- KESAVARAJU K. & JAGADEESWARA RAO R. 1988. Red sander – an accumulator plant of strontium. – Geobis 15: 207–209.
- MARSCHNER H. & RICHTER CH. 1974. Calciumtransport in Wurzeln von Mais und Bohnenkeimpflanzen. – Plant and Soil 40: 193–210.
- MICHAEL G. & SCHILLING G. 1960. Strontium in der höheren Pflanze. I. Die Aufnahme des Strontiums durch Erbsen und Hafer und seine Wirkung auf das Pflanzenwachstum. – Z. Pflanzenernähr., Bodenk. 91: 147–158.
- REDISKE J. H. & SELDERS A. A. 1953. The absorption and translocation of strontium by plant. – Plant Physiol. 28: 594–605.
- ROMNEY E. M., ALEXANDER G. V., RHOADS W. A. & LARSON K. H. 1959. Influence of calcium on plant uptake of Sr-90 and stable strontium. – Soil Sci. 87: 160–165.
- SCHILLING G. 1960. Strontium in der höheren Pflanze. II. Verteilung und Bindungszustand in der Pflanze. – Z. Pflanzenernähr., Bodenk. 91: 213–224.

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Phyton, Annales Rei Botanicae, Horn](#)

Jahr/Year: 1997

Band/Volume: [37\\_1](#)

Autor(en)/Author(s): Hackel Stefan, Pfeifhofer Hartwig Wilfried, Heinrich Georg

Artikel/Article: [Die Aufnahme von inaktivem Strontium in ausgewählte Nutzpflanzen in Hydro- und Erdkultur. 85-92](#)